



## Rapport de définition de l'ensemble des essais

Sébastien Garnier, Benoît Furet, Sandra Zimmer-Chevret, Laurent Langlois,  
Gabriel Abba, Nejah Jemal

### ► To cite this version:

Sébastien Garnier, Benoît Furet, Sandra Zimmer-Chevret, Laurent Langlois, Gabriel Abba, et al..  
Rapport de définition de l'ensemble des essais. [Rapport de recherche] ANR-10-SEGI-003-LI 5.1,  
Agence Nationale de la Recherche. 2014. hal-01091399

**HAL Id: hal-01091399**

**<https://hal.science/hal-01091399>**

Submitted on 7 Jan 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.



This is an author-deposited version published in: <http://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/9067>

### To cite this version :

Sébastien GARNIER, Benoît FURET, Sandra ZIMMER-CHEVRET, Laurent LANGLOIS, Gabriel ABBA, Nejah JEMAL - Rapport de définition de l'ensemble des essais - 2014

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)

 	Projet COROUSSO Livrable n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page de garde

Projet COROUSSO

ANR-10-SEGI-003


# Tâche 5 : Commande du système procédé-robot

## Livrable 5.1 : Rapport de définition de l'ensemble des essais

Projet ANR-2010-SEGI-003-COROUSSO

Partenaires :




 <b>Corouso</b>	Projet COROUSSO Livrable n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 2/16

	Rédigé par	Approuvé par	Validé par
Date	1/07/2014	30/09/2014	30/09/2014
Nom(s)	S. GARNIER – IRCCyN B.FURET – IRCCyN S. CHEVRET – LCFC L. LANGLOIS – LCFC G. ABBA – LCFC N. JEMAL – IS	G. ABBA – LCFC	G. ABBA – LCFC
Signature(s)			


Liste de diffusion		
Nom	Organisme	Fonction
BOUJDAINE Fatiha	ANR	
	HAL	


Indice de révision	Modifié par	Description des principales évolutions	Date de mise en application	Pages concernées

 <b>ANR</b> <i>Corouso</i>	Projet COROUSSO Livraison n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		1/07/2014
		indice A
		Page 3/16

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Configurations de soudage .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Pièces aluminium usinées .....</b>	<b>11</b>
3.1	Construction d'une pièce type en aluminium.....	11
3.2	Conditions de coupe .....	12
3.3	Zones d'analyse.....	12
<b>4</b>	<b>Pièces composites usinées .....</b>	<b>13</b>
4.1	Poutre centrale.....	13
4.2	Panneau intrados .....	14
4.3	Panneau extradados.....	14
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>16</b>

	<p>Projet COROUSSO Livrable n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 4/16

 <p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Corouso</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		1/07/2014
		indice A
		Page 5/16

## 1 INTRODUCTION

Ce rapport contient la définition des pièces d'essais utilisées pour la validation des tâches, d'une part en soudage FSW et d'autre part en usinage, qu'il soit de pièces aluminium ou de pièces en matériaux composites.

Le soudage par friction malaxage est un procédé de soudage à l'état solide de proche en proche. Ces deux caractéristiques lui confèrent des prédispositions pour l'assemblage de pièces en alliage d'aluminium des séries utilisées dans l'industrie du transport et des pièces de forme complexe.

Dans le livrable 2.2, l'effet du passage d'une soudure rectiligne à une soudure complexe sur les efforts d'avance et transverse a été mis en évidence. Les modèles statistiques reliant les efforts de soudage aux paramètres de conduite du procédé (objet du livrable 2.1) établis sur des soudures sur coupons rectilignes peuvent difficilement être extrapolés à des soudures complexes. La correction de la trajectoire du robot doit donc être valable pour des soudures le long desquelles les efforts d'avance et transverse sont susceptibles d'évoluer.

La robotisation du FSW est envisagée pour les soudures complexes pouvant occuper un volume de travail conséquent. Le robot polyarticulé est amené au cours du soudage à travailler avec des configurations différentes, c'est-à-dire, avec ces axes travaillant de façon différente. La déformation du robot, à efforts de soudage équivalents, peuvent donc évoluer tout au long de la soudure.

Les pièces de démonstration doivent permettre de valider ou d'estimer l'efficacité des corrections de trajectoires pour des soudures :

- Générant par leur géométrie des variations d'effort de soudage (avance et transverse)
- Des positions du robot différentes conduisant à des sollicitations de ces axes également différentes.

En ce qui concerne l'usinage, de nombreux essais d'usinage de pièces métalliques ou de pièces composites ont été menés et rapportés dans les livrables décrivant les méthodes développées pour l'optimisation de l'exploitation de solutions robotisées.

Pour la validation du potentiel d'usinage à l'aide de robots, nous avons choisi de mener les tests sur des pièces composites de grandes dimensions.

Il s'agit de pièces qui rentrent dans le cadre d'une nouvelle approche en termes de construction aéronautique, concernant la conception, la fabrication et la validation d'un démonstrateur de caisson d'avion d'affaires en composite. Ce projet avait permis, pour ce qui concerne le détournement des pièces composites, la détermination de conditions opératoires optimales.

Ce rapport présente le cas des pièces à tester ainsi que le moyen qui a été déterminé et exploité pour mener ces essais.

<p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Coroussou</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 6/16

## 2 CONFIGURATIONS DE SOUDAGE

Dans un objectif d'apporter les difficultés séparément, deux pièces ont été conçues :

- Une première pièce possédant une soudure fermée plane avec différents rayons de courbures
- Une deuxième pièce possédant une soudure suivant un angle.

Sur la figure 1 sont présentés des schémas des deux pièces démonstrateurs.

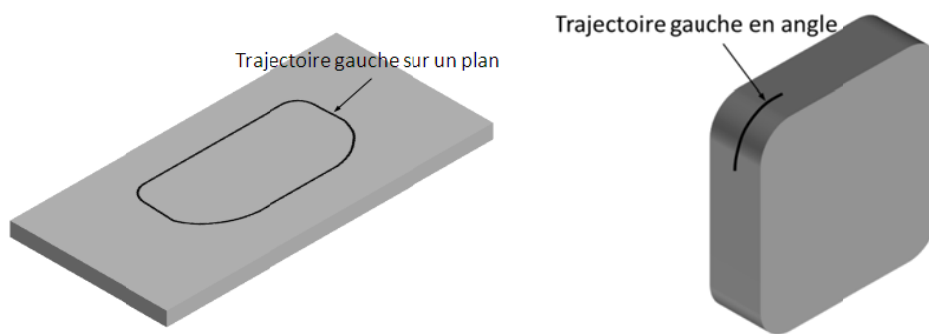


Figure 1 : Schémas des pièces démonstrateur

La première pièce comporte plusieurs intérêts :

- Une soudure plane fermée possédant des rayons de courbures différents
- La trajectoire comporte des discontinuités de courbure. La trajectoire est composée de parties rectilignes et d'arc de cercle. Du fait de l'angle d'inclinaison de l'outil, le franchissement des discontinuités de courbures nécessiteraient des accélérations angulaires infinies de la broche (voir figure 2). Lors du franchissement des discontinuités les paramètres de soudage (notamment l'orientation de l'outil) ne pourront être assurés.
- La soudure est réalisée en pleine tôle pour éviter l'effet des jeux de soudage et des éventuelles dénivellations



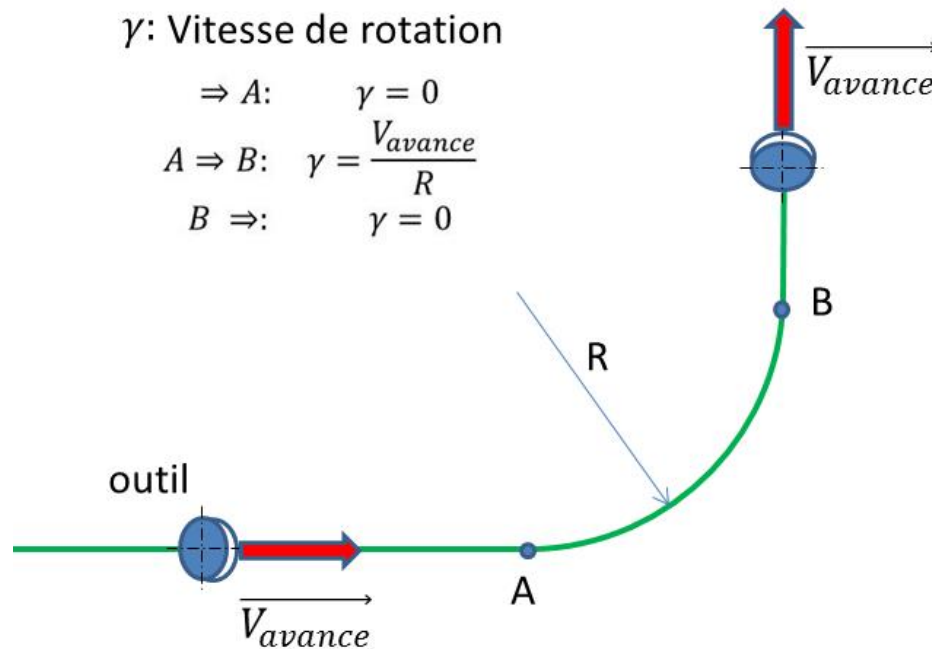


Figure 2 : Évolution de la vitesse angulaire de la broche au cours du franchissement d'une discontinuité de courbure

La deuxième pièce comporte plusieurs intérêts :

- La pièce permet de passer d'une soudure verticale à une soudure horizontale. En fonction de la position initiale de la pièce, elle permet de façon plus générale de souder en changeant la position de soudage.
- Au changement de position de soudage, il est possible faire une transition entre deux soudures sollicitant de façon différente le robot de soudage (voir figure 3).
- Comme pour la première pièce démonstrateur, la trajectoire de soudage comporte des discontinuités de courbure.

<p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Corouso</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 8/16

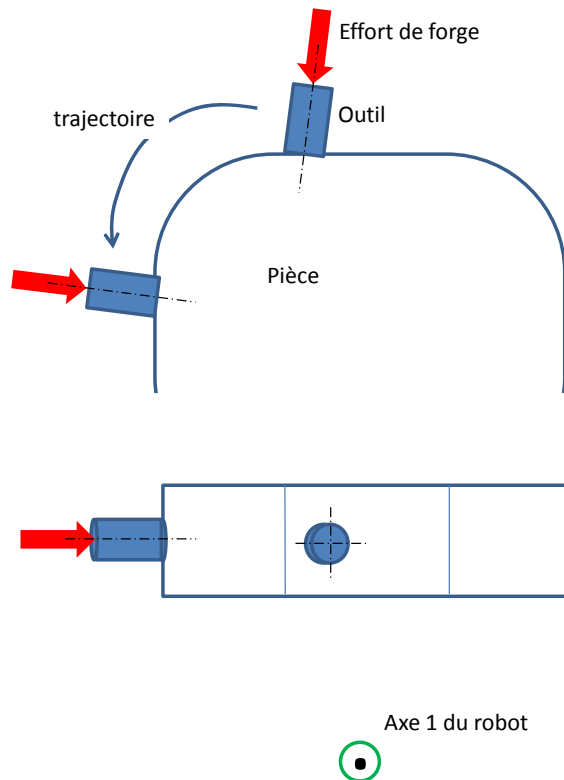
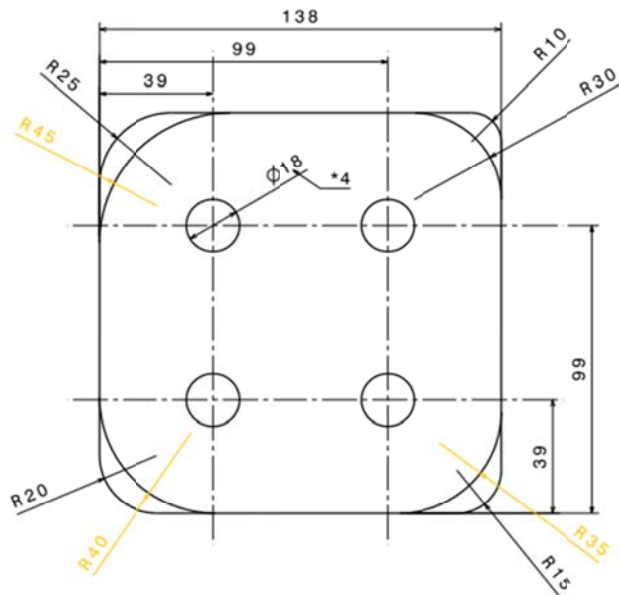


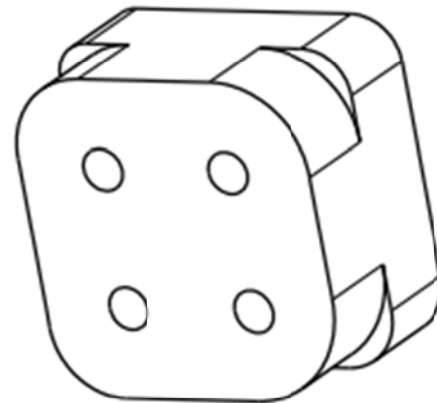
Figure 3 : Les différents modes de sollicitation de l'axe 1 du robot polyarticulé au cours de la soudure en angle.

Pour cette pièce démonstrateur, un montage a été conçu permettant de faire varier la position et l'orientation de la pièce dans l'espace de travail du robot.

La pièce démonstrateur a été réalisée de telle sorte à pouvoir tester le comportement du robot suivant les différents rayons de soudage (Figure 4). Différents rayons ont été définis, basé sur les travaux réalisés par Zaeh et al. [1]. L'éprouvette comporte 8 rayons (10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mm, 40mm et 45 mm) différents et peut être positionnée dans deux configurations de l'espace de travail du robot (Figure 5). Cela permet d'étudier l'influence de l'orientation de la ligne de joint dans l'espace de travail du robot.



*Vue de face*



*Vue isométrique*

**Figure 4 : Démonstrateur pour le soudage FSW robotisé**

<p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Corouso</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 10/16

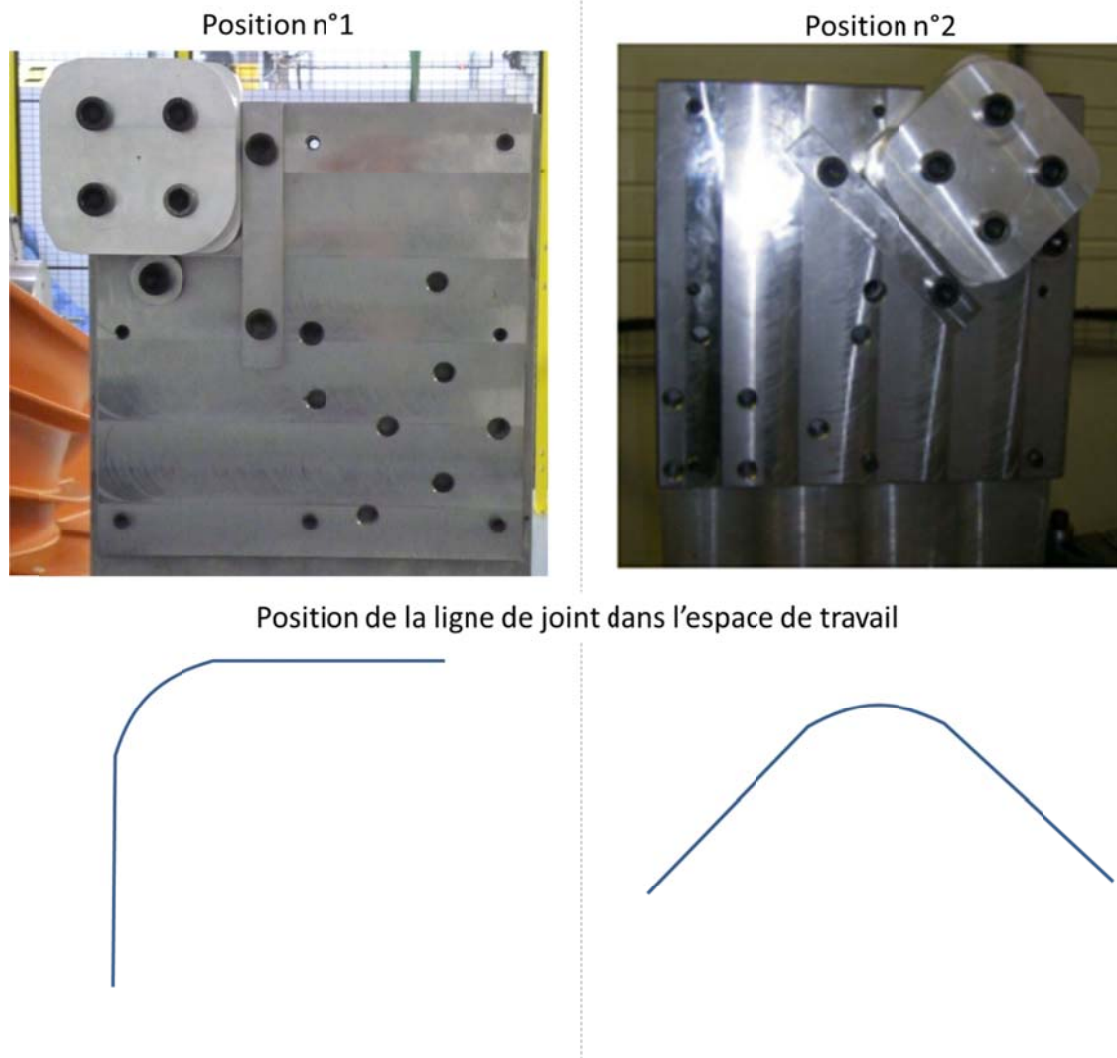


Figure 5 : Système de bridage développé pour le soudage d'un angle en FSW. Deux positions dans l'espace de travail du robot peuvent être testées

### 3 PIÈCES ALUMINIUM USINÉES

#### 3.1 Construction d'une pièce type en aluminium

Cette pièce a déjà été évoquée dans la livrable 3.3. La pièce est conçue afin de montrer plusieurs défauts d'un point de vue quasi-statique :

- Chargement constant dans différentes directions
- Changement de direction d'effort sans variation cinématique

Et d'un point de vue dynamique :

- Phase transitoire : entrée et sortie matière (variation de la section de copeau)
- Arrêt en pleine matière

Voici ci-dessous la forme de la pièce à détourer. Elle comporte des contournages à prise radiale constante, progressive, par palier et des rainurages pleine fraise.

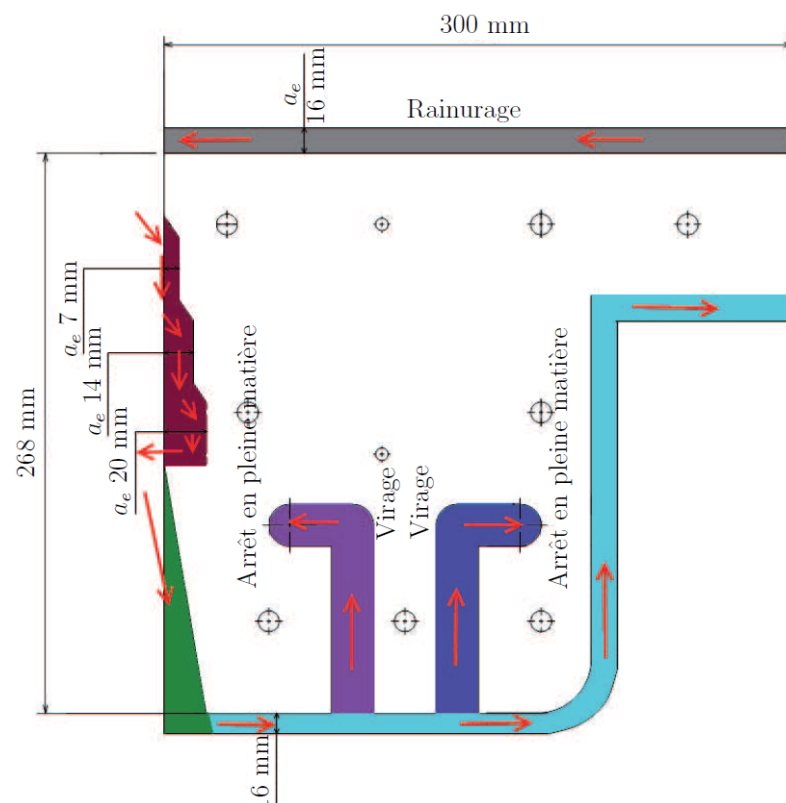


Figure 6 : Pièce usinée

<p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Corouso</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 12/16

### 3.2 Conditions de coupe

Conditions de coupe :

- $N=10\,000$  tr/min
- $V_f=3,6$  m/min soit  $f=0,09$  mm/tr/dent
- Placement 1
- Matière usinée : Aluminium AU4G
- Épaisseur tôle : 5 mm
- Diamètre fraise : 21,4 mm
- $Z=4$  dents
- Usinage en opposition

### 3.3 Zones d'analyse

La pièce usinée comporte plusieurs sections afin de voir le comportement dynamique du robot. La zone 1-2 est une ligne droite à profondeur de passe radiale constante. La zone 3 est un usinage en escalier alors que la zone 4 est un usinage à profondeur de passe radiale progressive. Les zones 5-6-7 est un contournage. Les zones 8 et 9 sont des rainurages pleine fraise avec un virage à 90° et un arrêt pleine matière.

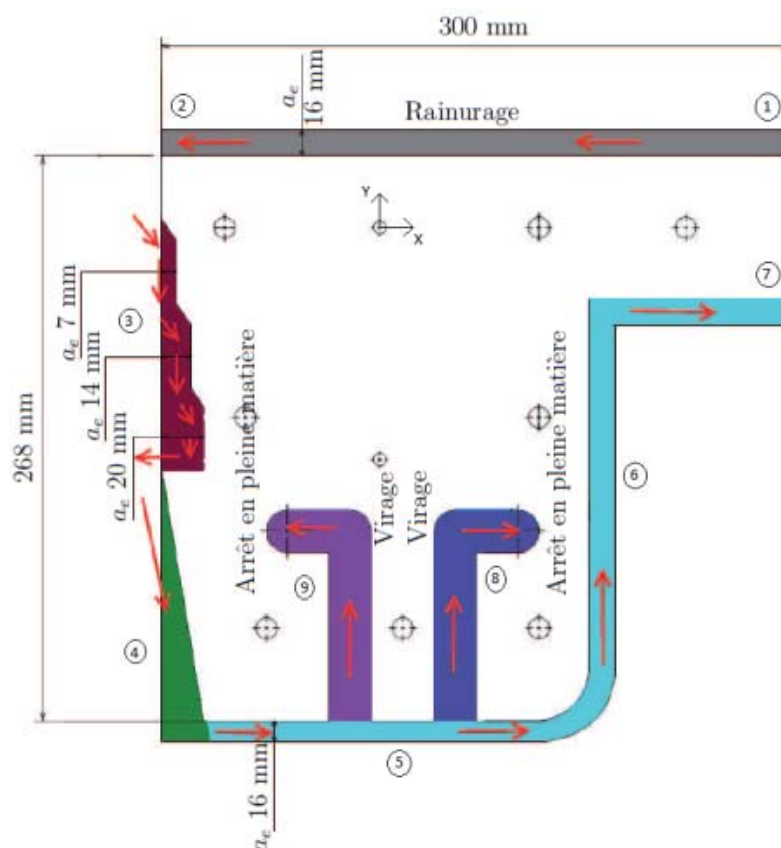



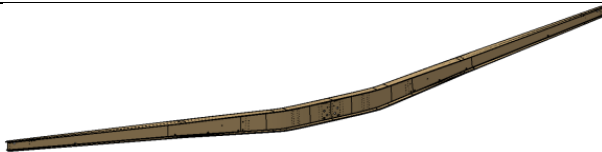
Figure 7 : Zones d'analyse au niveau de la pièce usinée


 <b>Corouso</b>	Projet COROUSSO Livraison n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		1/07/2014
		indice A
		Page 13/16

## 4 PIÈCES COMPOSITES USINÉES

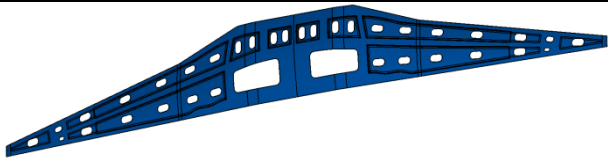
Les pièces en matériaux composites sont essentiellement en aéronautique. La définition des pièces composites du caisson de voilure est donnée sous forme de tableau ci-dessous :

### 4.1 Poutre centrale

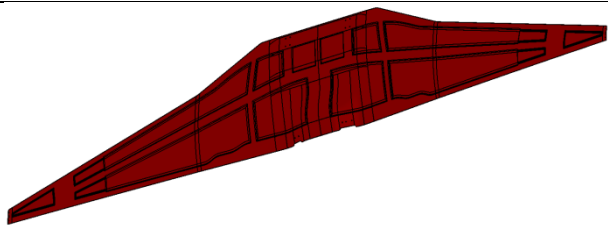
Pièce : Poutre centrale	
Matière	Carbone/époxy – Renfort en NIDA
Type de pli à usiner	UD + Tissus (semelles) – Épaisseur 20mm + 3 mm
Opérations de parachèvement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ponçage des semelles</li> <li>- Mise à largeur des semelles</li> <li>- Mise à longueur de la poutre</li> <li>- Chanfrein à 30° sur les semelles</li> <li>- Perçage de trous Ø9,525 ; Ø15,608 ; Ø16 ; Ø19,61 ; Ø20 ; Ø23 ; Ø28 ; Ø35,616 ; Ø36</li> <li>- Perçage de trous Ø6,35 mm à l'A3DE</li> </ul>
Tolérances d'usinage	±1 mm

 <b>Corouso</b>	Projet COROUSSO Livrable n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 14/16


## 4.2 Panneau intrados

Pièce : Panneau intrados	
Matière	Carbone/époxy – Renfort en NIDA
Type de pli à usiner	UD + Tissus (semelles) – Épaisseur 20mm + 3 mm
Opérations de parachèvement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détourage du contour extérieur</li> <li>- Ouverture des trappes à essence</li> <li>- Ouverture des trains d'atterrissage</li> <li>- Perçage de trous Ø2,5mm ; Ø5mm et Ø5,6 mm</li> </ul>
Tolérances d'usinage	±1 mm

## 4.3 Panneau extrados

Pièce : Panneau extrados	
Matière	Carbone/époxy – Renfort en NIDA
Type de pli à usiner	UD + Tissus (semelles) – Épaisseur 20mm + 3 mm
Opérations de parachèvement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détourage du contour extérieur</li> <li>- Perçage de trous Ø2,5mm ; Ø5mm et Ø5,6 mm</li> </ul>
Tolérances d'usinage	±1 mm




 <p>AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE</p> <p><b>ANR</b></p> <p><i>Corouso</i></p>	<p>Projet COROUSSO</p> <p>Livrable n°5.1</p> <p>Rapport de définition de l'ensemble des essais</p>	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		1/07/2014
		indice A
		Page 15/16

## 5 CONCLUSION

Dans ce livrable, nous avons défini quelques pièces types permettant de qualifier et de valider les usinages ou les soudages robotisés faisant l'objet des études du projet COROUSSO.

Les pièces définies précédemment ont été utilisées dans la tâche 5 « Validation expérimentale ». Les livrables L5.2 et L5.3 abordent en particulier les résultats obtenus pour ces pièces dans la cellule robotisée d'usinage de l'IUT de Nantes et dans celle de soudage FSW de l'Institut de Soudure de Goin.

Une attention particulière a été donnée à définir des pièces génériques de manière à pouvoir étendre nos conclusions pour d'autres pièces ou pour d'autres formes. Néanmoins, les résultats sur une cellule robotisée dépendent également du placement de la tâche dans l'espace de travail du robot. Ceci nous conduit à dire que la généralisation n'est pas très simple.

	Projet COROUSSO Livrable n°5.1 Rapport de définition de l'ensemble des essais	ANR-10-SEGI-003-LI 5.1
		15/09/2014
		indice A
		Page 16/16

## 6 BIBLIOGRAPHIE

[1] Michael F., Zaeh, Georg Voellner, Three-dimensional friction Stir Welding using a high payload industrial robot. Prod. Eng. Res. Devel. 4:127-133, 2010.